

(19)日本国特許庁 (J P) (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-76128  
(P2001-76128A)  
(43)公開日 平成13年3月23日(2001.3.23)

(51)Int.Cl.	識別記号	P I	分類記号
G 0 6 T 1/00		G 0 6 F 15/02	3 8 0
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00	H 5 B 0 5 7
G 0 8 G 1/16		G 0 8 G 1/16	C 5 H 1 8 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21)出願番号	特願平11-255459	(71)出願人	000003078 株式会社東芝 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地
(22)出願日	平成11年9月9日(1999.9.9)	(72)発明者	関部 寛 大阪府大阪市北区大淀中1丁目1番30号 株式会社東芝関西支社内
		(73)代理人	100081732 弁理士 大前 典夫 (外1名)

図表に続く



(54) [発明の名称] 障害物検出装置及び方法

(57) [要約] 車載のステレオカメラを用いて、ステレオカメラが校正で、走行中の振動や道路面の傾斜の変化がある状況下でも、道路面上に存在する障害物の高度かつ高精度な検出を実現する。

[解決手段] 画像を入力する複数台の未校正のTVカメラと、複数のTVカメラにより入力された複数枚の画像を蓄積するための画像蓄積部2と、道路面上に存在する互いに異なる複数の線を抽出する特徴抽出部3と、特徴抽出部3により抽出された複数の線から、道路面上の任意の点の各画像への投影位置の間に成り立つ関係式を求めるパラメータ計算部4と、パラメータ計算部4によって求めた関係式を用いて、道路面から高さを持つ物体を検出する検出部5から構成される。

[請求項の範囲]

【請求項1】 画像を入力する複数台のTVカメラと、複数台のTVカメラにより入力された複数枚の画像を蓄積するための画像蓄積部と、3次元空間中のある面上に存在する線を画像から抽出する特徴抽出部と、特徴抽出部により抽出された線から、上記面上の任意の点、上記複数枚の各画像への投影位置間に成り立つ関係式を求めるパラメータ計算部と、パラメータ計算部により算出した関係式を用いて、上記面上に存在しない領域を検出する検出部からなることを特徴とする障害物検出装置。

【請求項2】 請求項1に記載の複数台のTVカメラが、互いの位置、姿勢、及び、各カメラの焦点距離、画像中心が未知であることを特徴とする請求項1に記載の障害物検出装置。

【請求項3】 請求項1に記載のパラメータ計算部が、3次元空間中のある面上の任意の点、複数枚の各画像への投影位置の間に成り立つ関係式を2次元のフーリエ変換で表現し、そのフーリエ変換パラメータを求めることを特徴とする請求項1、請求項2、のいずれかに記載の障害物検出装置。

【請求項4】 請求項1に記載の特徴抽出部が、3次元空間中のある面上に存在し、請求項1に記載の複数台のTVカメラとほぼ同一方向で、3次元空間中で互いに異なる複数の線を画像から抽出し、それらの線の消失点を求めることを特徴とする請求項1、請求項2、請求項3のいずれかに記載の障害物検出装置。

【請求項5】 請求項1に記載の特徴抽出部が、3次元空間中のある面上に存在し、請求項1に記載の複数台のTVカメラとほぼ同一方向で、3次元空間中で互いに異なる複数の線を画像から抽出し、それらの線の画像上で傾きと、消失点を求めることを特徴とする請求項1、請求項2、請求項3のいずれかに記載の障害物検出装置。

【請求項6】 複数台のTVカメラにより入力された複数枚の画像を蓄積し、3次元空間中のある面上に存在する線をこれらの画像から抽出し、特徴抽出部により抽出された線から上記面上の任意の点の投影位置の各画像への投影位置間に成り立つ関係式を求めて、求められた関係式を用いて上記面上に存在しない領域を検出することを特徴とする障害物検出方法。

[発明の詳細な説明]

[0001]

[発明の属する技術分野] 自動車の安全運転を支援するために、車載カメラにより、先行車や歩行者、駐車車両等、道路面上に存在する障害物を検出する障害物検出装置に関する。

[0002]

[従来の技術] センサにより障害物を検知するための技術は、レーザや超音波等を利用するものと、TVカメラを利用するもの到大別される。レーザを利用するものは

高価であり、非実用的である。また、超音波を利用するものは超音波の解像度が低いため、障害物の検出精度に問題がある。

[0003] これに対し、TVカメラは比較的安価であり、解像度や計測精度、計測範囲の面からも障害物検出に適する。TVカメラを用いる場合、1台のカメラを使用する方法と複数台のカメラ(ステレオカメラ)を使用する方法がある。

[0004] 1台のカメラを使用する方法は、そのカメラで撮影した1枚の画像から、輝度や色、あるいはテクスチャ等の特徴を手がかりにして道路領域と障害物領域を分離する。例えば、画像中で彩度の低い中程度の輝度領域、つまり灰色の領域を抽出し道路領域を求めたり、テクスチャの少ない領域を求めて、道路領域を抽出し、それ以外の領域を障害物領域とする。しかし、道路と似た輝度、色、あるいはテクスチャを持つ障害物も数多く存在するため、この方法で一般の状況下において障害物領域と道路領域を切り分けるのは困難である。

[0005] これに対し、複数台のカメラを用いる方法は3次元情報を手がかりにして障害物を検出する。複数台のカメラを用いて対象シーンの3次元情報を得る技術は、一般にステレオ視と呼ばれ、ステレオ視とは、例えば2つのカメラを左右に配置し、3次元空間中で同一点である点を左右両画像間で対応づけ、三角測量の要領で、その点の3次元位置を求めるものである。各カメラの道路平面に対する位置や姿勢等をあらかじめ求めておくこと、ステレオ視により、画像中の任意の点の道路平面からの高さが得られる。したがって、高さの有無により、障害物領域と道路領域を分離することができ、1台のカメラを用いる方式では、道路と似た輝度や色、テクスチャを持つ領域を障害物として検出することは困難であるが、ステレオ視によれば、道路面からの高さを手がかりにして障害物を検出するため、より一般的なシーンでの障害物検出が可能である。

[0006] 通常のステレオ視は、画像上の任意の点のステレオカメラからの距離を求める技術であり、このためには、あらかじめ複数のカメラの間隔や向き、およびカメラレンズの焦点距離、画像中心等に関するパラメータを求める必要がある。これらを求める作業をキャリブレーションと呼ぶ。キャリブレーションは、3次元位置が既知な点を多数用意し、その点の画像への投影位置を求め、カメラの位置や姿勢、カメラレンズの焦点距離等に関するパラメータを算出し、しかし、この作業は多大な時間と労力が必要とし、ステレオ視による障害物検出の実用化を妨げる原因の1つとなっている。

[0007] しかし、画像上で道路領域と障害物領域を分離すればよいのであれば、必ずしもキャリブレーションは必要でない。すなわち、道路平面上の点の左右画像への投影点を(u<sub>l</sub>, v<sub>l</sub>), (u<sub>r</sub>, v<sub>r</sub>)とすれば、

【数1】

$$u_r = \frac{h_{31}u_l + h_{12}u_l + h_{13}}{h_{31}u_l + h_{32}u_l + h_{33}} \quad u_r = \frac{h_{31}u_l + h_{32}u_l + h_{33}}{h_{31}u_l + h_{32}u_l + h_{33}} \quad (1)$$

【外1】

という関係式が成り立つ。  $h = (h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{21}, h_{22}, h_{23}, h_{31}, h_{32}, h_{33})^T$  (「は」は図記号) は、

各カメラの道路平面に対する位置と姿勢、さらに、各カメラのレンズの焦点距離、画像原点に関するパラメータである。  $h$  は、あらかじめ道路平面上の4点以上の左右画像への投影点から求め、この関係式を用いて、左画像上の任意の点  $P(u_l, v_l)$  が道路平面上に存在すると仮定した場合の右画像上の対応点  $P'(u_r, v_r)$  を求める。点  $P$  が道路平面上に存在すれば、点  $P$  と  $P'$  が正しい対応点の組となるので、2点の傾度の差は小さくなる。したがって、点  $P$  と  $P'$  の傾度の違いが大きき場合には、点  $P$  は障害物領域に属すると判定する。以下では式1を道路平面拘束と呼ぶ。

【0008】この方式には、キャリブレーションと並んで、ステレオ視の問題である対応探索が不要というメリットもある。通常のステレオ視は、左右画像間で同一点を対応づける必要があり、その対応づけは探索計算により行われるため、計算コストが高い。しかし、上記の方式は、その対応探索が不要であるため、計算コストが極めて低く、実用的な方式である。

【0009】ステレオカメラが3次元空間中で固定しているれば、道路平面と各カメラの幾何学的な関係は不変であるが、一度求めたパラメータ  $h$  を使って、道路平面上に存在する障害物を検出可能である。しかし、車が走行している場合には、車自身の振動や道路の傾斜の変化等のため、道路平面と各カメラの相対的な位置や姿勢の関係は時々刻々変化する。つまり、走行中にパラメータ  $h$  は変化するため、静止時に求めた道路平面拘束を走行中の障害物検出に用いることはできない。

【0010】通常、このような問題に対しては、道路面上の多数の特徴点（道路上のペイントの角点等）を使って道路平面拘束を計算し、障害物を検出するという方法が用いられる。しかし、道路面上の多数の特徴点を抽出することは困難であり、障害物上の多数の特徴点を抽出することが多い。さらに、抽出した特徴点の対応探索を行う必要があるため、計算コストが高い。また、求めるパラメータの数が多いため、安定に道路平面拘束を求めることは極めて難しいという問題があった。

【0011】【発明が解決しようとする課題】上記のように、障害物検出装置はレーザや超音波を用いるものとTVカメラを用いるものに大別できるが、レーザや超音波を利用する障害物検出装置は高価であったり、計測精度が低いという問題があった。また、TVカメラを利用する障害物検出装置は、使用環境が限定されていたり、多大な時間と労力が必要とするキャリブレーションが必要であった

50

された2枚の画像を画像メモリに蓄積する。

【0016】特徴抽出部3は、画像蓄積部2により蓄積された2枚の画像上において、図6に示すように、2本の直線  $l_1, l_2$  を各々検出し、その交点（消失点）を求める。この直線検出はエッジ抽出処理とHough変換等を用いて行なう。

【0017】パラメータ計算部4は、静止時に求めた\*

$$u = \frac{h_{31}X + h_{12}Y + h_{13}Z + t_1}{h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}Z + t_3} \quad (2)$$

$$v = \frac{h_{21}X + h_{22}Y + h_{23}Z + t_2}{h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}Z + t_3} \quad (3)$$

【外2】

という関係式が成り立つ。  $h = (h_{11}, h_{12}, \dots, t_3)^T$  はカメラの位置と姿勢、焦点距離、画像中心に関するパラメータである。  $h$  は定数倍しても同一のカメラモデルを表すので、 $h$  の任意の1要素を“1”とし

ても一般性を失わない。そこで以下では  $h_{32} = 1$  とする。【数3】

$$u = \frac{h_{11}X + h_{12}Y + t_1}{h_{31}X + Y + t_3}, v = \frac{h_{21}X + h_{22}Y + t_2}{h_{31}X + Y + t_3} \quad (4)$$

となる。ここで以下の前提でカメラモデルを考える。★【0019】これらの前提の下では、

(a) カメラから比較的近方を対象領域とする。【数4】

(b) 左右カメラの前後の位置ずれが微小である。★

$$[式(4)の分母] = Y + \beta + h_{31}X + \Delta t_3 \approx Y + \beta \quad (5)$$

となる。ここで、 $\beta$  は図5に示すような左右カメラの視

点の中心と座標原点のY方向のずれであり、 $t_3 = \beta + \star$  【数5】

$$u \approx \frac{h_{11}X + h_{12}Y + t_1}{Y + \beta}, v \approx \frac{h_{21}X + h_{22}Y + t_2}{Y + \beta} \quad (6)$$

と簡略化できる。さらに  $Y_C = Y + \beta$  とおくと、◆【数6】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & t_1 - \beta h_{12} \\ h_{21} & t_2 - \beta h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X/Y_C \\ 1/Y_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{12} \\ h_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

【外3】

となる。右辺の行列を  $M$  とおく。図6に示すように白線  $l_1, l_2$  の交点（消失点）を  $t = (u_0, v_0)^T$  とすると  $(h_{11}, h_{12})^T t = 0$  である。  $X = (X/Y_C, 1/Y_C)^T$  とし、道路平面上の点  $P$  の左右画像へ

の投影点を各々  $u_l, u_r$  とすれば、【数7】

$$u_l - t_l = M_l X, u_r - t_r = M_r X \quad (8)$$

となる（ $l_1, l_r$  は白線の消失点）。これより、【数8】

$$u_r - t_r = M_r M_l^{-1} (u_l - t_l) = A(u_l - t_l) \quad (9)$$

となる。ここで、“ $l$ ”、“ $r$ ”は各々左右画像に対する添字である。ステレオカメラのキャリブレーションを行なっていないので、 $M_l, M_r$  は未知であるが、 $A$  は静止時に傾斜のない道路平面上の特徴点から、あらかじめ求めておく。

50

<sup>7</sup>  $Z=pY$ と表現できる。<sup>8</sup>  $Z=pY$ に対する道路平面拘束を2本の白線の跡(図7)から計算可能な方法を示す。傾斜面上の点  $(X, Y, Z)$  の画像への投影位置 \* (u', v') は、式(2)に  $Z=pY$ を代入すると、前

述の2つの前提下では、  
[数9]

$$u' = \frac{h_{11}X + (h_{12} + ph_{13})Y + t_1}{(1 + ph_{33})Y + \beta} \quad (10)$$

[特4]

となる。ここで傾斜が微小、すなわち  $p \approx 0$  と仮定すると、

$$u' \approx \frac{h_{11}X + (h_{12} + ph_{13})Y + t_1}{Y + \beta} \quad (11)$$

[数10]

$Y_C = Y + \beta$  とおき、さらに式(3)より  $v'$  について \* [数11] も同様の式変形を行うと、

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & t_1 - \beta u_0' \\ h_{21} & t_2 - \beta u_0' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X/Y_C \\ 1/Y_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0' \\ v_0' \end{bmatrix} \quad (12)$$

[特5]

ただし、 $(u_0', v_0')^T = t$  は2本の白線の消失点である。

$\Delta u = (\Delta u, \Delta v)^T = u - t$ ,  $\Delta u' = (\Delta u', \Delta v')^T = u' - t'$  とおくと、式(7)より  $\Delta u = M X$  だから上式は、  
\* [数12]

$$\begin{aligned} \Delta u' &= \begin{bmatrix} h_{11} & t_1 - \beta u_0' \\ h_{21} & t_2 - \beta u_0' \end{bmatrix} X + \beta \begin{bmatrix} 0 & \Delta u_0' \\ 0 & \Delta v_0' \end{bmatrix} X \\ &= \Delta u + \beta/Y_C \Delta t \end{aligned} \quad (13)$$

[特6]

ただし  $\Delta t = (\Delta u_0, \Delta v_0)^T = t - t'$ 、式(7)より、

$$X = M^{-1} \Delta u \quad (14)$$

[数13]

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

[特7]

とすると  $1/Y_C = m_{21} \Delta u + m_{22} \Delta v$  となる。したがって、式(13)は、

[数15]

$$\Delta u' = \begin{bmatrix} 1 + \beta_1 \Delta u_0 & \beta_2 \Delta u_0 \\ \beta_1 \Delta v_0 & 1 + \beta_2 \Delta v_0 \end{bmatrix} \Delta u \quad (16)$$

となる。ただし、 $\beta_1 = m_{21} \beta$ ,  $\beta_2 = m_{22} \beta$  とし \* [特8]

◆

た。図7のように傾斜によって画像上の片方の

白線が  $l_1, \Delta v = p_1 \Delta u$  から  $l_1', \Delta v' = p_1' \Delta u'$  に変化したとすると式(16)より、

[数16]

$$p_1' \Delta u_0 - \Delta u_0 \beta_1 + p_1' (p_2' \Delta u_0 - \Delta u_0) \beta_2 = p_1 - p_1' \quad (17)$$

を得る。もう1本の白線  $(1, 2 \rightarrow 1', 2')$  についても同様に式変形を行なうと、  
\* [数17]

$$(p_2' \Delta u_0 - \Delta u_0) \beta_1 + p_1' (p_2' \Delta u_0 - \Delta u_0) \beta_2 = p_2 - p_2' \quad (18)$$

[特9]

となり、 $\beta = (\beta_1, \beta_2)^T$  に関する2本の1次方程式を得る。これらより  $\beta$  を求めれば、式

(16)の行列  $K$  を求めることができる。左右画像に各々 \* [特10] について上記の処理を行なうと、道

路平面上の点の投影位置は、傾斜の変化によって  $\Delta u_i' = K_i \Delta u_i$ ,  $\Delta v_i' = K_i \Delta v_i$  と変換される。したがって、式(9)を用いると、  
\* [数18]

$$\Delta u_i' = K_i \Delta u_i = K_i A \Delta u_i = K_i A K_i^{-1} \Delta u_i \quad (19)$$

となる。式(9)の  $A$  が、傾斜により  $A' = K_i A K_i^{-1}$  と変化したことになる。式(19)が傾斜面に対する道路平面拘束である。

[0021] 検出部5は、カメラ4が撮影部4で求めた道路平面拘束を用いて、障害物を検出する。左画像の任意の点  $(u_1, v_1)$  の傾度を  $l_1(u_1, v_1)$  とし、点  $(u, v)$  が道路平面上に存在すると仮定した場合、  
\* [数19]

$$D = |l_1(u_1, v_1) - l(u, v)| \quad (1 \cdot |は絶対値|) \quad (20)$$

として、 $D \neq 0$ 、あるいは距離を考慮し、 $D > Th$  (Thはあらかじめ設定した閾値) となる点Pは障害物候補に属すると判定する。

[0022] 以上のようにして、車載のステレオカメラから進行時に道路平面上の障害物を検出することができ、  
\* [数20]

[0023] 本実施例は画像入力部1で、2台のTVカメラを左右に並べて2枚の画像を入力しているが、これらのカメラは上下に配置してもよい。また、3台以上のカメラを配置してもよい。

[0024] また、特徴抽出部3は、道路平面上の2本の線を検出する場合について説明したが、3本以上の線を検出してもよい。

[0025] また、進行中の自車の振動のみを考慮すればよい場合には、式(16)で  $\beta_1 = 0$  ( $\beta_1 = \beta_2 = 0$ ) と仮定してよいので、同式右辺の行列が  $K = 1$  (1 ◆ [数20])

$$g'(u, v) = g(u, v) \quad (21)$$

ただし、 $(u', v')$  は、式19より求める。 $g'(u, v)$  は、画像  $g(u, v)$  上の任意の点が道路平面上に存在すると仮定した場合に、左カメラで得られる画像である。例えば、図10の右画像からは、同図に示すような変換画像を得る。図11に示すように、道路平面上にある点の投影点は、左画像と変換画像で同一となるのに対し、道路平面上にない点、すなわち、障害物

(この場合は先行車両)上の点は、道路からの高さに応じて異なる位置に投影される。したがって、この左画像と変換画像の差分を取ることににより、道路平面上の障害物を検出する。つまり、左画像を  $f(u, v)$  とする \* [数21]

◆

11

$$D' = |f(u, v) - g(u, v)| \quad (|\cdot|: \text{絶対値})$$

として、 $D' \neq 0$ 、あるいは誤差を考慮して、 $D' > Th$  \*  $(2w+1) \times (2w+1)$  のウィンドウを設定し、ウィンドウ内のある位置に設定した閾値)となる点  $(u, v)$  は障害物領域に属すると判定する。

【0028】また、検出部5は画像差分をとることに、 $v$  の点  $(u, v)$  の  $C$  は、よって2枚の画像の画像の差を抽出したが、各点に対して \*

$$C = \frac{1}{N} \sum_{v=-w}^w \sum_{u=-w}^w \frac{(F(u+\xi, v+\eta) - G(u+\xi, v+\eta) - a_2)}{\sigma_1 \sigma_2} \quad (23)$$

ここで、 $N = (2w+1) \times (2w+1)$ 、 $a_1, a_2$  \* 【外11】  
は2枚の画像のウィンドウ内の画素の平均。

$\sigma_1^2, \sigma_2^2$  は2枚の画像のウィンドウ内の画素の分散である。この場合、 $C < Th$  (Thはあらかじめ設定した閾値)となる点  $(u, v)$  が障害物領域に属すると判定する。

【0029】また、本実施例では道路両端の2本の白線を直線として抽出したが、道路がカーブしている場合には白線は曲線となる。この場合には、白線を曲線として抽出すれば、同様に障害物を検出することができる。

【0030】また、道路面として平面を設定して説明したが、曲面的場合であっても、平面の場合と同様に障害物を検出することができる。

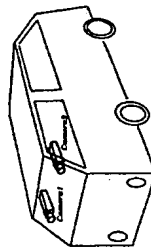
【0031】また、本実施例は、車載カメラからの障害物検出に図1に記述したが、例えば、移動ロボットの自律走行にも適用することが可能であり、本方法は車載カメラからの障害物検出に限定されるものではない。

【0032】その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で変形を実施できる。

【0033】

【発明の効果】道路平面からの高さの有無により障害物を検出するため、明るさの変動や影の影響を受けず、画像中から先行車や歩行者等の障害物を検出することができ、また、道路平面と各カメラの幾何学的関係から成り立つ拘束式を、道路両端の2本の白線のみから求め、走行中の振動や道路平面に傾斜にある場合でも、前述に道路平面上の障害物を検知することができ、

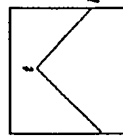
【図1】



【図2】

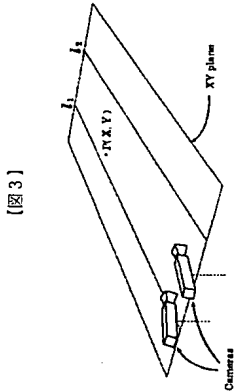


【図6】

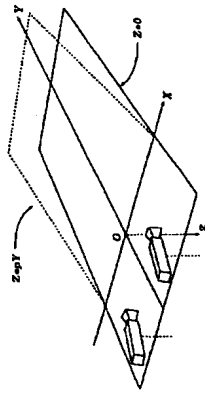


12

$$(22)$$

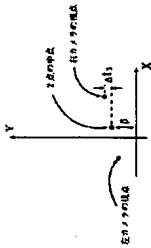


【図3】

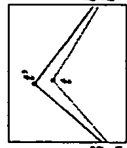


【図4】

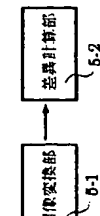
【図5】



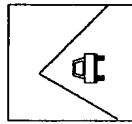
【図7】



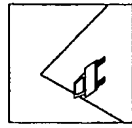
【図8】



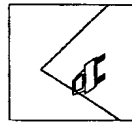
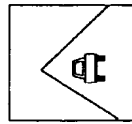
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA24 DD06 FF05 JJ05

JJ19 JJ26 QQ00 QQ13 QQ17

QQ24 QQ31 QQ36 QQ41

5B057 AA16 BA02 CA08 CA12 CA16

CB08 CB13 CB16 CC01 CD01

CH08 DB03 DB09 DC07 DC16

5H180 AA01 CC04 LL01 LL08